

Berichte

Der Firnzuwachs pro 1963/64 in einigen schweizerischen Firngebieten

51. Bericht

Von

A. LEMANS

Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt

A. Verdankungen und Quellenangaben

Die in unserem Bericht zusammengestellten Messungen wurden wie in früheren Jahren von folgenden Instituten und Einzelpersonen ausgeführt:

Clariden: Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA).

Silvretta: Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF).

Jungfraufirn: Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH.

Berninagebiet: Dr. G. GENSLER, Flugwetterzentrale Zürich-Kloten.

Die meisten der Pegelablesungen im Claridengebiet stammen von S.A.C.-Hüttenwart B. MARTI (Linthal).

Allen, die an diesen Messungen mitgearbeitet oder uns ihre Ergebnisse mitgeteilt haben, sei bestens gedankt.

B. Witterung und Schneeverhältnisse

Wie wir im letztjährigen Bericht schon schrieben, wurden die tieferen Firnregionen wohl erst am 2. Oktober 1963 definitiv eingeschneit, während oberhalb ca. 2800 m ü. M. die Ablationsperiode schon am 17. August endete. Auch die meteorologischen Stationen Gütsch, Säntis und Weissfluhjoch erhielten anfangs Oktober eine Schneedecke. Während der Schönwetterperiode vom 8. bis zum 30. Oktober verschwand diese Decke wieder fast ganz. Nur am Weissfluhjoch blieben 3 cm übrig. Erst am 1. November erhielten diese Stationen eine beständige Schneedecke, also etwa zwei Wochen später als im langjährigen Durchschnitt. Der Monat November war ausserordentlich mild in den Niederungen der Alpennordseite und brachte sehr grosse Niederschläge, besonders auf der Alpensüdseite. Im Gebirge waren die Temperaturen nicht so extrem hoch. Die Monatsniederschläge erreichten im Kanton Glarus 120 bis 160 % des Normalwerts, in Klosters 174 %, Davos und Weissfluhjoch ca. 200 %, im Oberengadin, im mittleren Tessin und in den südlichen Bündner Tälern zwischen 300 und 400 %. Mehr als die Hälfte der hohen Niederschläge der Alpensüdseite fielen in den ersten 6 Tagen des Monats während einer Föhnperiode. Leider wissen wir nicht, wieviel Niederschlag unsere Firngebiete in dieser Zeit erhielten. In der ersten Phase kann es sehr wohl bis 3000 m geregnet haben.

Der eigentliche Hochwinter 1963/64 (Dezember bis Februar) war extrem trocken. Im Mittel der Monate Dezember und Januar war der Luftdruck im Raume zwischen Schottland und Island

ungewöhnlich hoch. In Mitteleuropa bestanden sehr häufig Hochdrucklagen mit den in der Schweiz typischen Begleiterscheinungen: kaltes und nebligtes Wetter in den Niederungen nördlich der Alpen und gleichzeitig mildes und sehr sonniges Wetter in den Bergen. Für Dezember und Januar betrug die Niederschlagsmenge in den Glarner Alpen und im Silvrettaggebiet etwa 20 % des Normalwertes, im Februar aber schon über 50 %, da in diesem letzten Monat der Drucküberschuss über Nordwesteuropa sich beträchtlich abgeschwächt hatte.

Tabelle B 1. Schneehöhen auf unvergletscherten Bergstationen

Station	Gütsch ob Andermatt	Säntis	Weissfluhjoch ob Davos
Höhe des Messfeldes (m ü. M.)	2290	2350	2540
5. Oktober 1963	2	8	0
8. Oktober	28	59	26
16. Oktober	0	10	9
1. November	2	0	3
8. November	65	18	48
16. November	47	45	44
21. November	110	58	84
28. November	145	70	88
5. Dezember	135	58	86
17. Dezember	144	49	86
30. Dezember	100	30	86
9. Januar 1964	55	20	86
15. Januar	70	60	98
30. Januar	50	33	93
1. Februar	80	80	113
13. Februar	90	167	152
27. Februar	60	130	119
1. März	85	174	134
8. März	120	180	134
15. März	105	150	128
25. März	155	160	152
29. März	200	175	173
19. April	145	110	143
25. April	260	172	185
26. April	265	178	179
1. Mai	200	190	166
6. Mai	160	210	168
12. Mai	128	130	142
31. Mai	0	30	87
3. Juni	0	0	73
12. Juni	0	0	0

Für die Ausübung des Wintersportes war diese Trockenheit natürlich gar nicht günstig. Auf dem Versuchsfeld des Weissfluhjochs blieben die Schneehöhen vom 5. Dezember an bis zum Ende der Saison unter dem Durchschnitt. Ende Januar und um den 20. März herum wurden sogar die geringsten Schneehöhen gemessen seit 1936/37 (Beginn der Messungen). In den Frühlingsmonaten März bis Mai herrschten niederschlagsmässig ziemlich «normale»-Verhältnisse.

Im März und April fielen die Niederschläge hauptsächlich in der zweiten Monatshälfte, so dass die Schneehöhen jeweils am Monatsende ein deutliches Maximum zeigen (siehe Tabelle B 1). An den Stationen Gütsch, Säntis und Weissfluhjoch wird um den 1. Mai herum das Schneehöhenmaximum des hydrologischen Jahres 1963/64 beobachtet, und wir nehmen an, dass dies ebenfalls für die Firngebiete unterhalb 3000 m gilt. In grösseren Höhen, wo vor Juni keine wesentliche Ablation stattfand, ist das Maximum sicher nicht vor dem 20. Mai eingetreten. Der Anfang vom Monat

Juni oder auch der 15. Juni (Kaltfrontdurchgang mit beträchtlichen Niederschlägen) können als Datum des Maximums in Betracht gezogen werden. In Anbetracht der geringen Schneedecke ist es nicht weiter erstaunlich, dass die Bergstationen rund zwei Wochen früher als in Durchschnittsjahren ausaperten.

Tabelle B 2. Monatsmittel der Lufttemperatur auf Bergstationen

M = Monatsmittel 1964, A = Abweichung vom durchschnittlichen Monatsmittel 1901—1940

Station	Gütsch		Säntis		Weissfluhjoch		Jungfrauoch	
	Höhe (m ü. M.)		2500		2667		3578	
	M	A	M	A	M	A	M	A
Mai 1964	3,0	+1,8	1,2	+1,4	0,8	+1,7	-5,2	+1,6
Juni	6,7	+2,3	5,0	+2,2	4,7	+2,4	-1,2	+2,4
Juli	9,0	+2,0	6,6	+1,8	6,6	+2,2	0,0	+1,8
August	6,9	-0,3	4,8	+0,1	4,4	-0,3	-1,4	+0,3
September	6,1	+1,5	4,2	+1,7	3,9	+1,3	-1,5	+2,1
Mai-September	6,3	+1,4	4,4	+1,5	4,1	+1,5	-1,9	+1,6

Die Tabellen B 2 bis B 4 dienen in üblicher Weise der Charakterisierung der Temperaturverhältnisse im Gebirge und in der freien Atmosphäre während der Ablationsperiode Mai bis September 1964. Sie zeigen, dass alle Monate — mit Ausnahme von August — einen bedeutenden Wärmeüberschuss lieferten, der im Mittel über fünf Monate 1,5 Grad beträgt. Es ist allerdings grosse Vorsicht angebracht, wenn man von Wärmeüberschuss oder von einem warmen Sommer spricht. Es kommt nämlich sehr darauf an, für welche Bezugsperiode der langjährige Mittelwert berechnet wurde. Von den vier hier verwendeten Bergstationen besitzt allerdings nur der Säntis eine genügend lange Beobachtungsreihe. Für den Säntis würde der Wärmeüberschuss dieses Sommers (V—IX) 1,9 Grad betragen, wenn wir die Bezugsperiode 1871—1900 gewählt hätten; aber nur 0,9 Grad, bezogen auf die neue internationale Normalperiode 1931—1960. Diese Zahlen spiegeln nur die wohlbekannte Tatsache wider, dass seit dem XIX. Jahrhundert eine allgemeine Erwärmung stattgefunden hat. Wir bemerken hier noch, dass die Mitteltemperatur für das ganze hydrologische Jahr 1963/64 auf dem Säntis die höchste seit 1948/49 und auf dem Jungfrauoch die höchste seit 1938/39 (Beginn der Messungen) war*.

Tabelle B 3. Temperatursummen (Summen der positiven Tagesmittel) auf Bergstationen (gemessen) und Firnfeldern (berechnet)

Für Clariden wurden die Tagesmittel von Gütsch, für Silvretta diejenigen von Weissfluhjoch und für Jungfrau firn diejenigen von Jungfrauoch der Höhe entsprechend reduziert

Ort	Gütsch	Clariden		Säntis	Weissfluhjoch	Silvretta		Jungfrauoch firn	
		2700	2900			2750	3000	3578	3350
Höhe (m ü. M.)	2287	2700	2900	2500	2667	2750	3000	3578	3350
Mai 1964	98	39	23	63	53	43	19	1	4
Juni	200	124	90	156	148	134	92	12	30
Juli	280	203	165	210	225	210	164	35	63
August	214	137	104	151	151	138	100	28	44
September	188	118	87	143	142	129	92	19	42
Mai-September	980	621	469	723	719	654	467	95	183

* In diesen Berichten wurden anfänglich die Abweichungen der Temperaturmonatsmittel vom Säntis in bezug auf die Periode 1864—1913 mitgeteilt. Von 1950 bis 1958 wurde die Normalperiode 1864—1940 verwendet, und erst ab 1959 kam die Bezugsperiode 1901—1940 in Anwendung. Auf internationaler Basis sind 30jährige Normalperioden in Gebrauch. (Siehe Bericht 37, Jahrgang 95 (1950), S. 273, und Bericht 46, Jahrgang 104 (1959), S. 413, dieser Zeitschrift.)

Die in Tab. B 3 mitgeteilten Temperatursummen dienen dazu, die Ablation der Schneedecke abzuschätzen. Die gebildete Schmelzwassermenge S ist mehr oder weniger proportional zur Summe der positiven Tagesmitteltemperaturen am selben Ort T , und zwar gilt, wie TH. ZINGG gezeigt hat, $S = 0,45 T$ (S in cm Wasserhöhe, T in Gradtagen). Nach den berechneten Temperatursummen zu urteilen, hat ziemlich genau $\frac{1}{3}$ der gesamten Ablation im Monat Juli stattgefunden. Die Temperatursumme des Säntis beträgt für das ganze hydrologische Jahr 1963/64 801 Gradtage (122 % des Mittelwertes 1901—1940), für Mai bis September 723 Gradtage (121 %). Diese Zahlen entsprechen ungefähr dem Durchschnitt der letzten zwei Dezennien (1941—1960).

Tabelle B 4. **Temperatursummen in der freien Atmosphäre (Niveau 700 mb = ca. 3100 m ü. M.) nach Radiosondierungen**

(Mittel aus 1-h- und 13-h-Aufstieg, berechnet von G. GENSLER)

Ort	Payerne	München	Mailand	$\frac{2}{3}$ Mailand + $\frac{1}{3}$ München
Mai 1964	13	7	25	19
Juni	47	50	74	66
Juli	87	72	116	101
August	77	65	95	85
September	70	56	79	71
Mai-September	294	250	389	342

Für das Berninagebiet kann keine in der Nähe gelegene Bergstation gefunden werden. Es wurden daher Temperatursummen für das 700-mb-Druckniveau aus Radiosondierungen berechnet (Tabelle B 4).

Das in der letzten Kolonne angegebene, gewogene Mittel aus den Werten von Mailand und München dient zur Beurteilung der Ablation im Berninagebiet. Radiosondierungen werden erst seit dem zweiten Weltkrieg auf der ganzen Erde ausgeführt, so dass wir für die Temperaturen in der freien Atmosphäre keine längere Normalperiode finden können als 15 Jahre: 1949—1963. Wir haben für den Zeitraum Mai bis September 1964 die Durchschnittstemperaturen der Atmosphäre über Europa zwischen dem Boden und 5,5 km Höhe zusammengestellt. Verglichen mit der recht kurzen Normalperiode zeigte sich ein Wärmedefizit über Skandinavien, den Balkanstaaten und Südrussland und ein Überschuss über das ganze übrige Europa. Das relative Wärmezentrum lag über Südfrankreich. In den Alpen war diese ganze Luftschicht um mindestens 1 Grad zu warm.

Tabelle B 5. **Sommenscheindauer auf meteorologischen Vergleichsstationen**

a = absolut, in Stunden $\%M$ = in Prozent der maximal möglichen Sonnenscheindauer
 $\%m$ = in Prozent des langjährigen Mittelwertes (1931—1960)

	Ablationsperiode Mai-September 1964			Hydrologisches Jahr Okt. 1963 bis Sept. 1964		
	a	$\%M$	$\%m$	a	$\%M$	$\%m$
Säntis	1024	46	113	2153	49	115
Braunwald	933	51	109	1689	49	107
Gütsch	1070	—	—	2048	—	—
Jungfraujoch	1095	52	118	2043	51	116
Disentis	1121	59	115	1934	55	110
Landquart	1070	58	113	1815	52	108
Weissfluhjoch	1026	52	110	2142	52	110
Davos	989	55	113	1836	54	110
St. Moritz	1001	55	108	1762	49	98
Schuls	1055	56	108	1909	55	107

Die Sonnenscheindauer war im August gleich dem 30jährigen Mittelwert, in den übrigen Sommermonaten Mai, Juni, Juli und September überdurchschnittlich. Auch die Wintermonate Dezember und Januar lieferten dem Hochgebirge mehr Sonnenschein, als in den letzten 50 Jahren je gemessen worden war. Daher besteht auch für das hydrologische Jahr 1963/64 ein Überschuss an Sonnenschein, mit einer Ausnahme. Die Station St. Moritz, wo nur 98 % erreicht wird, scheint den selben Einflüssen unterworfen zu sein wie das Tessin, denn auch in Lugano wurde für die Periode Oktober 1963 bis September 1964 nur 98 % registriert.

Im Monat August erfolgten am Ende jeder Dekade Kaltlufteinbrüche, die von Schneefällen in den Bergen begleitet waren. Am 12. August fiel Schnee in Davos, aber in der zweiten Monatshälfte sank die Schneefallgrenze nicht so tief herab. Die Niederschläge am 29. August waren in der ganzen Schweiz recht bedeutend, aber die Wetterverschlechterung, die einer sehr warmen Woche folgte, dauerte nur kurz. Der September brachte weniger Niederschlag als der August, dafür übernormale Temperaturen und, in den Firngebieten, eine fast ebenso grosse Temperatursumme wie der Vormonat. Wir müssen deshalb annehmen, dass sich Ablation und Schneefall im September mehr oder weniger die Waage hielten, zumindest bis zur Monatshälfte. Das Datum des Herbstminimums ist somit schwer festzulegen. Wir werden in den folgenden Abschnitten noch darauf zurückkommen. Wir halten es für wahrscheinlich, dass das Minimum in den höchsten Firngebieten in die erste Augustwoche fiel. Um 3000 m herum kommen drei verschiedene Daten in Frage: 7. August, 29. August und 16. September. In tieferen Lagen kann das Minimum auf den 29. August oder in die erste Hälfte September gefallen sein, aber nicht später als 16. September.

C. Clariden

Zur Zeit der Herbstmessung 1963 (17./18. September) war am oberen Messplatz (2900 m) das Minimum schon vorbei. Wir haben im letztjährigen Bericht (Jahrgang 108, Seite 431 dieser Zeitschrift) dafür den 17. August angenommen. Bei der Begehung waren an dieser Stelle bereits 36 cm Neuschnee vorhanden (Wasserwert 16 cm), worauf wie üblich der Ocker gestreut wurde. Wir haben den Pegelstand vom 17. September 1963 als Nullpunkt genommen und dementsprechend die spärlichen, uns eingeschickten Pegelablesungen in Schneehöhen verwandelt. (Tabelle C 1, letzte Kolonne.) Diese Zahlen bedürfen jedoch einer Korrektur. Wir konnten an drei verschiedenen Tagen die Schneehöhe mit anderen Methoden bestimmen und fanden folgende Differenzen gegenüber den Pegelablesungen:

Datum	Höhenmessung durch Grabung bis auf den Ocker	Höhenmessung mit Sondierstangen
25. Mai 1964	+ 38 cm	+ 36 cm
26. Juli	—	+ 39 cm
29. September	+ 30 cm	+ 37 cm

Diese Differenz kann sowohl durch Setzung der ursprünglich 182 cm hohen Schneeschicht zwischen Ocker und Stangenfuss als auch durch oberflächliche Abschmelzung erklärt werden. Da in der Zeit vom 18. September bis zum 1. Oktober 1963 am unteren Pegel 40 cm vom alten grauen Firn wegschmolz, wird auch am oberen Messplatz die Neuschneesicht von 36 cm nicht bis zum 1. Oktober intakt geblieben sein. Auch die Ablesung vom 27. Oktober weist darauf hin, denn bei einer weiteren Neuschneesicht von 40 bis 50 cm, wie sie im Oktober auf dem unteren Gletscherplateau abgelagert wurde, müsste man beim oberen Pegel einen Zuwachs von 50 bis 60 cm erwarten und nicht nur einen solchen von 33 cm. Da die Ablation von Neuschnee viel langsamer vor sich geht als diejenige von schmutzigem Firn und da wir für die eingetretene Setzung noch genügend Spielraum lassen müssen, nehmen wir an, dass die am 17. September gemessene Schicht von 36 cm bis Anfang Oktober auf die Hälfte reduziert wurde.

Beim unteren Pegel (2700 m) sind dagegen keine systematischen Differenzen aufgetreten. Da hier das Herbstminimum vom 1. Oktober 1963 durch Beobachtungen am 27. Oktober eindeutig belegt ist, haben wir die Schneehöhen, bezogen auf dieses um 40 cm tiefere Niveau, ebenfalls in die Tabelle C 1 aufgenommen. Da die Pegelstange in einer alten und schon sehr harten Schicht stand,

Tabelle C 1. Schneehöhen auf Clariden nach Pegelablesungen (in cm)

Messplatz	Hüttenpegel	Unterer Firnpegel		Oberer Firnpegel
Höhe (m ü. M.)	2440	2700	2700	2900
Bezugsdatum	—	18. Sept. 63	1. Okt. 63	18. Sept. 63
18. Sept. 1963	0	0	—	0
1. Oktober*	0	-40*	0*	—
27. Oktober	—	-1	39	33
12. April 1964	—	242	282	280
9. Mai	—	307	347	348
20. Mai	160	272	312	—
25. Mai	—	267	307	328
22. Juli	0	37	77	—
26. Juli	0	19	59	153
31. Juli	0	2	42	118
16. August	0	-51	-11	103
26. August	0	-123	-83	68
29. September	0	-151	-111	102

* Dieser Wert konnte mit Sicherheit berechnet werden (keine Ableseung).

war nicht mit wesentlichen Setzungseinflüssen zu rechnen. Am 20. Mai 1964 ergab die Grabung hier eine um 12 cm höhere Schneeschicht als die Pegelablesung; das Mittel der in der Umgebung ausgeführten Sondierungen dagegen war um 13 cm kleiner. Vielleicht hängt die grössere Streuung damit zusammen, dass die Schneeeablagerung durch Gletscherspalten beeinflusst wurde, die in einer Entfernung von wenigen Metern verlaufen. Am 26. Juli war die Pegelablesung wieder identisch mit dem Resultat von Sondierungen.

Die grösste Schneehöhe wurde auf dem Claridenfirn vermutlich Anfang Mai erreicht. Wir schätzen die maximale Höhe beim oberen Messplatz auf 390 cm und beim unteren Messplatz auf 360 cm. Das sind recht niedrige Maxima, die bisher nur selten unterboten wurden. Im Frühjahr 1947 waren die Zahlen ähnlich, in 1934 wurden als Maximum bei der unteren Boje 210 cm und bei der oberen Boje 315 cm angegeben. Für den berüchtigt trockenen Winter 1920/21 liegen keine Angaben vor. Bis zur diesjährigen Frühlingsmessung (20. und 25. Mai 1964), die wegen Schlechtwetter unterbrochen werden musste, hatte der Wasserwert der Schneedecke vermutlich noch nicht abgenommen. In Anbetracht der geringen Winterakkumulation war zu befürchten, dass der eine oder sogar beide Pegel im Laufe des Sommers ganz ausapern und umfallen würden. Solche Vorfälle haben schon in früheren Jahren bedauerlicherweise die Messung der Ablation verunmöglicht. Wir sind deswegen am 26. Juli aufgestiegen und haben an jedem Messplatz eine nur 4 cm dicke Reservestange möglichst tief in ein Bohrloch versenkt. Die Ableitung für Hydrologie und Glaziologie (ETH), die solche «Ablationsstangen» in grosser Zahl auf dem Aletschgletscher verwendet, hat uns freundlicherweise zu diesem Zweck einen Eisbohrer geliehen. Diese Vorsichtsmassnahme war nicht überflüssig, wie sich später gezeigt hat.

Die Herbstbegehung 1964 fand in den drei letzten Septembertagen bei strahlendem Wetter statt. Im Tal traf man schon ab 1600 m kleine Schneeflecken an, doch behinderte der Neuschnee, der auf dem Firn 30 bis 40 cm hoch lag, den Aufstieg nicht wesentlich. Wir konnten feststellen, dass dem Walenbach entlang überhaupt keine Spuren von Winterschnee mehr vorhanden waren. Am 26. Juli hatten wir noch einen kleinen Rest gesehen. Der Firn wies eine bedeutende Spaltenbildung auf. Zwei Spalten in unmittelbarer Nähe des unteren Pegels, die 1962 erst angedeutet waren, hatten sich stark verbreitert, die eine davon fast bis zu drei Meter.

Am unteren Messplatz war der Pegel vom letzten Herbst tatsächlich umgefallen. Der Neuschnee verhinderte das Auffinden der Firngrenze und der alten Spuren, wie wir sie 1963 gesehen hatten. Nur die Stange von 1954 war noch sichtbar, 33,5 m südlich vom Fixpunkt. Die 31 cm hohe Neuschneesicht kann den Schneefällen der zweiten Septemberhälfte zugeschrieben werden. Als Datum des Herbstminimums nehmen wir an dieser Stelle den 16. September 1964 an. Die grauschwarze Firnoberfläche, die wir unter dem Neuschnee fanden, lag 142 cm unter dem

Niveau vom 1. Oktober 1963. Es handelte sich um ein ziemlich hartes, splitterndes Eis, worin mit Hilfe des Pickels eine über 1 m tiefe Grube für die 7 m lange Pegelstange hergerichtet werden musste. Da wir im September 1963 bereits auf die Ockerflecken von 1954 stiessen und die diesjährige Ablation von 142 cm sicher die Ablagerungen vom Winter 1953/54 (60 cm Schneehöhe) und vom Winter 1952/53 (130 cm Schneehöhe) aufgebraucht hat, standen wir somit wieder auf derselben Schicht, die W. KUHN schon im 39. Bericht (Jahrgang 97, Seite 280 dieser Zeitschrift) im Herbst 1952 beschrieben hat. Diese muss aus den Jahren vor 1940 stammen. Seit 1961 wird die Höhe der Firnoberfläche in bezug auf Felsmarken mit einem kleinen Theodoliten bestimmt. Am unteren Messplatz hat sich eine Senkung von 4,7 m seit 1961 ergeben, wovon 2 m allein im letzten Jahr.

Auf dem Weg zur oberen Boje mussten mehrere sehr grosse Spalten umgangen werden. Am oberen Messplatz fanden wir eine 39 cm dicke Neuschneesicht mit demselben Wasserwert wie bei 2700 m. Darunter lag 100 cm Schnee (mit einem Wasserwert von 51 cm) über dem Ocker. Die jährliche Wanderung der Boje betrug 11,6 m gegen ENE, etwas weniger als sonst. Die Einmessung mit dem Theodoliten ergab eine Senkung der Firnoberfläche von 2,8 m seit 1961, wovon 1,2 m im letzten Jahr. Der Gipfel der Hinteren Scheibe war nur noch knapp hinter dem Grat des Vorderen Spitzalpelstockes sichtbar. Diese Geländemarke, die zur Bestimmung des Fixpunktes dient, war, nach den sehr warmen Sommern 1947, 1949 und 1950, von 1950 bis 1955 unsichtbar gewesen. Nach den Pegelablesungen können wir nicht entscheiden, ob bei der oberen Boje das Herbstminimum am 29. August oder am 16. September 1964, oder zwischen diesen beiden Daten, erreicht wurde. Der Jahreszuwachs ist noch etwas grösser als 1 Meter, da nach unserer Voraussetzung unter dem Ocker noch Schnee aus den Monaten August und September 1963 lag. Wir setzen dafür 15 cm ein (Wasserwert 8 cm), so dass der Nettojahreszuwachs mit 115 cm Schneehöhe und 59 cm Wasserwert zu veranschlagen ist. Die 8 cm Wasser sind aber auch zu der im Mai gemessenen Menge zu addieren.

Tabelle C 2. Firnzuwachs auf Clariden nach Abstichen und Grabungen

Datum	Messplatz m ü. M.	Schneeart	Schneehöhe cm	Wasserwert cm	Mittleres Raumgewicht kg/m ³
20. Mai 1964	2700	Winterschnee	299	131	436
25. Mai	2900	Winterschnee	364	174	477
29. September	2700	Neuschnee	31	11	370
29. September	2900	ganze Schicht	139	62	448
29. September	2900	Winterschnee	100	50,6	508
29. September	2900	Neuschnee	39	11,7	299

Um die Ablationsleistung des Sommers 1964 zu erhalten, müssen wir noch einige Schätzungen machen. Für das Raumgewicht der zehnjährigen Firnschicht am unteren Messplatz ist die Zahl 750 kg/m³ sicher nicht zu hoch gegriffen. Die Abschmelzung von 142 cm Firn ist also dem Verlust von 107 cm Wasser äquivalent. Wenn wir die festen Sommerniederschläge während der Ablationsperiode für 2900 m Höhe auf 39 cm und für 2700 m auf 36 cm veranschlagen, so erhalten wir für den Schneehaushalt folgende Zahlen:

	Unterer Pegel 2700 m ü. M.		Oberer Pegel 2900 m ü. M.	
	Wasserwert	Datum	Wasserwert	Datum
Maximale Akkumulation	131 cm	20. V.	182 cm	25. V.
Herbstminimum	-107 cm	16. IX.	59 cm	29. VIII.
Differenz = Ablation	238 cm		123 cm	
Fester Sommerniederschlag	36 cm		39 cm	
Totale Schmelzleistung S	274 cm		162 cm	
Reduzierte Temperatursumme T	553 Gradtage		363 Gradtage	
Verhältnis S : T	0,495 cm/Gradtage		0,446 cm/Gradtage	

Beim Vergleich dieser Zahlen muss man berücksichtigen, dass die zwei Kolonnen sich auf verschiedene Zeiträume beziehen. Wollten wir das Datum des Herbstminimums für 2900 m Höhe ebenfalls auf den 16. September 1964 ansetzen, so wären in der Kolonne rechts folgende Zahlen einzusetzen: fester Sommerniederschlag 51 cm, Schmelzleistung 174 cm, Temperatursumme $T = 425$ Gradtage und $S : T = 0,409$ cm/Gradtage.

Tabelle C 3. Niederschlag im Umkreis der Clariden

W (Winter) = Periode vom 18. September 1963 bis 19. Mai 1964
 S (Sommer) = Periode vom 20. Mai bis 29. September 1964
 G = W+S = Periode vom 18. September 1963 bis 29. September 1964
 H = Hydrologisches Jahr = Periode vom 1. Oktober 1963 bis 30. September 1964
 N = Normale Jahressumme = Mittel der Jahre 1901—1940

Ort	Höhe m ü. M.	W cm	S cm	G cm	H cm	N cm	H/N %
Linthal-Auen	815	82	61	144	139	176	79
Linthal-Fätschbach	685	94	66	160	156	183	85
Urnerboden	1350	81	63	144	139	173	81
Braunwald	1190	86	55	141	137	189	73
Elm	960	76	63	140	138	153	90
Disentis	1170	74	36	110	106	126	84
<i>Totalisatoren:</i>							
Claridenhütte	2480	86	74	159	155	—	—
Geissbüztistock	2710	201	75	276	268	345	78

Die Tabelle C 3 zeigt, dass alle Talstationen bedeutend weniger Niederschlag erhielten als im Vorjahr. Man kann sogar sagen, dass das hydrologische Jahr 1963/64 das trockenste ist seit 1948/49. Wenn man die Akkumulationsperiode Oktober bis Mai oder auch Oktober bis April für sich allein betrachtet, so erhält man nahezu dieselben Prozentzahlen wie unter H/N in der Tabelle C 3. Es ist bemerkenswert, dass der Geissbüzttotalisator schon letztes Jahr nur 79 % des Normalwerts erhielt, was damals etwas aus dem Rahmen fiel.

Für den Claridenfirn liegen nun für 50 Jahre Messungen des Firnzuwachses vor. Unter diesen hatten nur sechs hydrologische Jahre einen geringeren Zuwachs oder einen grösseren Firnchwund verursacht als das Jahr 1963/64, nämlich die Jahre 1946/47, 1920/21, 1949/50, 1948/49, 1927/28 und 1933/34. Wir haben sie hier nach zunehmendem Firnzuwachs geordnet. Unter diesen sechs Jahren wiesen 1920/21 und 1933/34 die kleinsten Winterniederschläge auf (weniger als 55 cm in Linthal-Auen für Oktober bis Mai). Die vier Jahre 1927/28, 1948/49, 1946/47 und 1963/64 brachten ungefähr gleichviel Winterniederschlag. Davon war 1947 bekanntlich das wärmste Jahr, und 1964 hatte relativ den kühlfsten Sommer. In den Jahren 1942 und 1929 wich der Firnzuwachs nicht stark vom diesjährigen Zustand ab.

Es ist seit einiger Zeit aufgefallen, dass der Totalisator auf dem Geissbüztistock besonders hohe Niederschläge anzeigt. Seit dem Jahr 1957, als Frühlingmessungen eingeführt wurden, wissen wir, dass nur im Winter ein grosser Unterschied gegenüber den Talstationen besteht. Zunächst wurde die Brauchbarkeit der Resultate vom Geissbüzttotalisator, die immerhin bereits eine lange Reihe bilden, bezweifelt. Auf dem Altenorenstock bei der Claridenhütte wurde zur Kontrolle ein zweiter Totalisator errichtet. Vom letzteren liegen erst vier Jahresresultate vor. Daneben verfügen wir über Wasserwertsbestimmungen der Frühjahrsschneedecke in 2700 m Höhe für insgesamt 7 Jahre, in 2900 m für nur 3 Jahre. Nach diesen wenigen Vergleichsmessungen können wir natürlich noch keine sichere Schlüsse ziehen, möchten aber vorläufig folgende Bemerkungen machen. Wir bezeichnen den im Frühjahr gemessenen Wasserwert der Schneedecke beim unteren Pegel mit h_{27} , den Wasserwert beim oberen Pegel mit h_{29} , die für dieselbe Periode geltenden Niederschlagssummen der Totalisatoren auf dem Geissbüztistock und auf dem Altenorenstock resp. mit T_G und T_A , das Mittel der Winterniederschläge der 4 Stationen Linthal-Auen, Linthal-Fätschbachwerk, Urnerboden und

Braunwald (in Tabelle C 3 unter W) mit R. Die Quotienten dieser Grössen bewegen sich in den unten angegebenen Grenzen:

Quotient	kleinster Wert	grösster Wert	Mittel
$T_A : R$	1,00	1,16	1,07
$T_G : R$	2,11	2,57	2,38
$h_{27} : R$	1,34	2,17	1,70
$h_{29} : R$	1,82	2,00	1,90
$h_{27} : T_G$	0,58	0,87	0,71
$h_{29} : T_G$	0,78	0,86	0,83

Wir sehen hieraus, dass die Akkumulation auf dem oberen Firnplateau am besten durch T_G repräsentiert wird, während der Altenorentotalisator sich wie eine Talstation verhält. Es stellt sich die Frage, ob ähnliche Verhältnisse bei Sommerschneefällen auftreten oder nicht und welche Rolle Schneeverfrachtungen durch den Wind spielen.

D. Silvretta

Von diesem Gletscher liegen infolge vom Auslandsaufenthalt des Bearbeiters zur Zeit der Drucklegung noch keine Angaben vor. Wir werden später darauf zurückkommen.

E. Jungfraufirn

Die Schneehöhen waren auf dem Jungfraufirn beim Pegel 3 bis Mitte Mai nicht höher als auf dem Claridenfirn. Das Maximum wurde wahrscheinlich in der letzten Maidekade oder Anfang Juni erreicht und kann auf 390 cm geschätzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Vorjahr vom Augustminimum bis zum 30. September schon ein Zuwachs von 60 cm verzeichnet wurde. Als grösste Schneehöhe können wir daher ca. 440 cm annehmen.

Tabelle E. Schneehöhen auf dem Jungfraufirn, bezogen auf den 30. September 1963, in cm

(Pegel 3 der Schweizerischen Gletscherkommission, 3350 m ü. M.)			
30. September 1963	0	26. April	360
9. Oktober	60	10. Mai	360
13. November	125	30. Mai	375
22. November	145	9. Juni	370
1. Dezember	170	27. Juni	350
22. Dezember	155	13. Juli	345
16. Januar 1964	170	17. Juli	315
2. Februar	180	31. Juli	245
24. Februar	175	14. August	280
10. März	215	21. August	270
24. März	280	15. September	250
9. April	280	22. September	315

Die Hauptablationsperiode dauerte von Mitte Juni bis zum 7. August. Das Sommerminimum trat vermutlich in der ersten Augustdekade ein und entsprach einem Pegelstand von ungefähr 230 cm. Den Jahreszuwachs seit dem Minimum 1963 schätzen wir auf $230 \text{ cm} + 50 \text{ cm} = 280 \text{ cm}$. Dieser Betrag wurde in den letzten 20 Jahren nur in den Sommern 1947, 1949, 1950 und 1957 unterboten. Vor Mitte September ist kein merklicher Anstieg der Schneehöhen zu erkennen, und die Möglichkeit eines späteren Minimums muss daher offen gelassen werden.

F. Berninagebiet

Von Samedan aus wurde mittels Fernrohrbeobachtungen der folgende Firnzuwachs festgestellt (bezogen auf das Niveau vom 13. August 1963):

Messpunkt	Misaun	Rosatsch	Palü
Höhe (m ü. M.)	3010	3100	3850
2. Januar 1964	+1,2 m	+1,1 m	—
1. August	+0,1 m	+0,3 m	—
22. September	-0,6 m	-0,5 m	+1,5 m

Die absolute Höhe der Gipfelkuppe des Piz Palü (Mittelgipfes 3905 m) hob sich an seinem Messpunkt bis zum Januar um etwa einen halben Meter und blieb seither konstant. Falls die Schmutzeinlagerungen richtig gedeutet wurden, ergibt sich am Gipfelabbruch des Palü (3850 m) einen Firnzuwachs von 7 m seit dem Herbst 1960, 15 ½ m seit 1957 und 21 m seit 1955. Auf dem Vadret Pers wurde östlich der Felsinsel Refugi dals Chamuotschs ein Firnzuwachs von 1,2 m gemessen. In der Berninagruppe war die Ausaperung unterhalb 3100 m ü. M. auf Eisunterlage eher noch etwas stärker als auf steinigem Boden. Es mag damit zusammenhängen, dass die Fels- und Schuttflächen in der Umgebung immer mehr an Ausdehnung gewinnen.

Der Firnzuwachs dieses Jahres war unterdurchschnittlich, doch war das Defizit nicht so ausgeprägt wie im Claridengebiet. Der Ausaperungszustand des Geländes war im September 1964 etwa gleich fortgeschritten wie in den 5 Jahren 1958, 1956, 1952, 1942 und 1938. Von den 29 Vergleichsjahren (Beginn 1935) zeigten 8 Jahre (1943, 1944, 1945, 1947, 1949, 1950, 1953 und 1959) einen stärkeren Abschmelzvorgang und die übrigen 16 Jahre bewirkten eine geringere Ausaperung als 1964.

Tabelle F. Schneehöhenmessungen im Oberengadin auf eisfreiem Gelände

Datum	Ort	Höhe	Schneehöhe
30. Dezember 1963	Plateau Corviglia	2650 m	105 cm
30. Dezember 1963	Saluvertal, Marguns	2280 m	74 cm
31. Dezember 1963	Muottas Muragl	2565 m	112 cm
31. Dezember 1963	Muottas Kulm	2450 m	90 cm
2. Januar 1964	Saluver-Trais Fluors	2780 m	145 cm

Die Sommertemperaturen waren in diesem Gebiet übernormal, wie in den anderen besprochenen Firnregionen. (Siehe Abschnitt B, Tabelle B 4.) Dagegen war der Winter im Oberengadin relativ niederschlagsreicher als im Norden der Alpenkette. Für die Periode Oktober 1963 bis Mai 1964 erreichten die Niederschläge in Sils-Maria 95 %, in Bernina-Lago-Bianco 93 % und in St. Moritz 88 % des Normalwerts. Dieser Unterschied wurde durch den ausserordentlich hohen Überschuss des Monats November verursacht.

G. Résumé 1963/64

In den nördlichen Ketten der Schweizer Alpen blieben die Winterniederschläge bedeutend hinter dem langjährigen Durchschnitt zurück. In dieser Hinsicht ist das hydrologische Jahr 1963/64 vergleichbar mit einigen von den trockensten Jahren, die wir seit 1864 kennen. Mit Ausnahme des Monats August wies die Ablationsperiode übernormale Temperaturen und Sonnenscheindauer auf. Oberhalb 3000 m fand die Ablation hauptsächlich in der Zeit von Mitte Juni bis Anfang August statt. Nachher blieb das Firnniveau bis Mitte September mehr oder weniger konstant, da Abschmelzung und Neuschneefälle sich die Waage hielten. Das Datum des Herbstminimums konnte deshalb nicht mit Sicherheit bestimmt werden. In tieferen Lagen dauerte die Ablation bis Ende August oder sogar bis Mitte September an. Am 16. September wurde in allen Höhenlagen ein deutliches Ansteigen der Schneedecke beobachtet. Der resultierende Firnzuwachs war stark unternormal und in 2700 m Höhe traten stellenweise mindestens 25 jährige Eisschichten zutage.